

# 夏秋トマト雨よけ栽培における赤外線カット資材による終日遮光は放射状裂果の発生を抑制し可販果収量を増加させる

## Infrared-Reflecting Material Reduces Radial Fruit Cracking and Increases Marketable Fruit Yield in Tomato Production under Rain Shelters in Cool Uplands

岩本英伸・宮本哲郎\*  
(高原農業研究所)

Eishin IWAMOTO and Tetsuro MIYAMOTO  
(Highland Agricultural Research Institute)

### 要 約

熊本県では標高 400~650 m の夏期冷涼な地域で夏秋トマトの雨よけ栽培が行われている。しかし、夏期にはハウス内が高温となることから、放射状裂果の発生による可販果率の低下や可販果収量の減少が問題となっており、対策技術が求められている。近年、ハウス内の昇温抑制を目的とした、光合成有効放射 (PAR) 透過率が高く、近赤外線 (NIR) を選択的に吸収または反射する赤外線カット資材が開発されている。そこで本研究では、新規の反射型赤外線カット資材による夏期の終日遮光が、放射状裂果の発生や可販果収量に及ぼす影響について検討した。試験は標高 543 m の熊本県農業研究センター高原農業研究所において 2017 年、2018 年の 2 年間実施した。雨よけ栽培の夏秋トマトを赤外線カット資材で終日遮光すると、無遮光に比べてハウス内日最高気温の遮光期間の平均が 1.2~1.3℃低下した。また、光が当たっている果実の表面温度が 5.7℃、葉の表面温度が 2.5℃それぞれ低下した。赤外線カット資材で遮光すると無遮光に比べ葉長および葉幅が増加したが、地上部乾物重および総収量に有意な差はなかった。赤外線カット資材の被覆により無遮光に比べ放射状裂果の発生が減少し、可販果率が向上した。また、可販果 1 果重が増加し、可販果収量が 16~21%増加した。一方、遮光率 40%程度の一般的な遮光資材による終日遮光では、無遮光に比べハウス内気温や果実、葉の表面温度の低下および放射状裂果の減少が認められたが、地上部乾物重および総収量が減少し、可販果収量は増加しなかった。以上から、赤外線カット資材による終日遮光は、夏秋トマトにおける放射状裂果の発生抑制や可販果収量の増加に有効であることが示された。

キーワード：トマト、赤外線カット資材、遮光、放射状裂果、収量

### I 緒言

熊本県では 1980 年頃から阿蘇や上益城の標高 400~650 m の夏期冷涼な地域で、単棟雨よけハウスを用いた夏秋トマトの栽培が行われている。しかし、平坦地に比べると冷涼とは言え、夏期の晴天時にはハウス内の気温がトマトの生育適温とされる 23~28℃<sup>22)</sup> を大幅に上回り、放射状裂果の発生をはじめとした高温障害による可販果率の低下や可販果収量の減少が問題となっている。さらに、近年は地球温暖化の影響で夏期の気温上昇が続いており、夏秋トマトの生育環境は悪化している。気象庁による阿蘇乙姫 (標高 487 m) の 8 月の日最高気温の平均を 10 年ずつ区切って平均すると、1979~1988 年が 27.3℃、1989~1998 年が 28.2℃、1999~2008 年が 29.1℃、

2009~2018 年が 29.4℃で、直近の 2009~2018 年は当地域で夏秋トマトの雨よけ栽培が普及した頃の 1979~1988 年に比べ 2.1℃高くなっている。このように気温の上昇が進行する中、高温障害の発生も顕著になっているが、対策はほとんど取られておらず、早期の高温対策技術の確立が求められている。

トマトの高温対策のためにハウス内を積極的に冷房する方法としては、ヒートポンプによる夜間冷房<sup>6, 14, 18, 19)</sup>、水を気化させて冷却するパットアンドファン<sup>14, 25)</sup>や細霧冷房 (超微粒ミスト)<sup>3, 9, 10)</sup> などがある。しかし、これらは平坦地の重装備した大型施設に設置されることが多く、導入コストや運転コストの面から簡易な単棟ハウスで栽培される夏秋トマトには不向きである。これら

\*現 熊本県大阪事務所

の方法に対し、遮光は比較的簡便な高温対策技術である。遮光によりハウス内の昇温を抑制することができ、遮光率が高いほどその効果は大きい<sup>1)</sup>。しかし、夏秋トマトにおいては遮光率が40～60%と高い資材を終日遮光すると減収することが報告されている<sup>17, 20)</sup>。これは過度の遮光により光合成に必要な光合成有効放射(以下、PAR)が不足したためと考えられる。そのため、晴天日の日中のみを遮光して昇温を抑制し、それ以外は無遮光としてPARを確保することが検討された。岡崎・太田<sup>20)</sup>はハウスのフィルムの上に展開した遮光資材を手動による巻き上げ機で開閉し、晴天日の午前9時から午後4時までの7時間遮光する試験を行い、裂果が減少し可販果収量が増加すると報告している。また、ハウス内の気温<sup>17)</sup>や照度<sup>7, 21)</sup>、日射量<sup>8)</sup>を基にハウス内に設置した遮光資材を自動的に開閉する方法が試みられ、裂果の減少<sup>7, 8, 17, 21)</sup>や可販果収量の増加<sup>7, 8)</sup>が報告されている。しかし、夏秋トマトの栽培に用いられている単棟ハウスには遮光資材の開閉に利用できるカーテン装置が設置されていない。このため、晴天日の日中のみ遮光の普及は難しく、フィルムの上に重ねて被覆するだけの簡便な終日遮光による高温対策技術の開発が望まれる。

近年、PARの透過率を高く維持しつつ、近赤外線(以下、NIR)を選択的に吸収または反射する赤外線カット資材が開発され、ハウス内の昇温抑制に有効とされている<sup>1, 5)</sup>。赤外線カット資材はPARの透過率が高いことから、終日遮光でも光合成量の低下が少なく、一般的な遮光資材による終日遮光で見られるような減収<sup>17, 20)</sup>を防げる可能性があると考えられる。品目は異なるが、赤外線カット資材の被覆により一般的な遮光資材に比べハウレンソウでは生育促進効果<sup>15)</sup>が、また、シュンギクでは増収効果<sup>23)</sup>が認められている。そこで本研究では、新規に開発された反射型の赤外線カット資材による夏期の終日遮光が、夏秋トマトにおける放射状裂果の発生や可販果収量に及ぼす影響について、慣行の無遮光栽培と比較して検討した。

## II 材料および方法

試験は2017年、2018年の2年間、熊本県農業研究センター高原農業研究所(熊本県阿蘇市一の宮町、標高543m)で実施した。2017年は間口6m、奥行15m、棟高2.9mの隣接した南北向き単棟パイプハウス3棟を使用した。2018年は2017年に使用したハウスを撤去し、同じ場所に間口および奥行は同じで、棟高が3.3mのパイプハウスを建て、同じく3棟を用いた。両試験年ともハウスには新しいPOフィルム(イースターUVカット0.075mm、三菱ケミカルアグリドリーム株式会社)を展開した。試

験区は3棟の内の1棟を赤外線カット区とし、PAR透過率が高くNIR(波長域800～1200nm)を選択的に反射する赤外線カット資材(試作品、帝人株式会社)をPOフィルムの上に重ねて被覆した。また、他の1棟を遮光区とし、遮光率が40%程度の一般的な遮光資材(ダイオネット涼かD40、ダイオ化成株式会社)を同様に被覆した。残りの1棟は慣行の無遮光区とし、POフィルムの展開のみとした。なお、本試験で使用した赤外線カット資材は、新規に開発された反射型の赤外線カットフィルム(日射の透過率が71%でPARの透過率が88%)<sup>5, 13)</sup>を細断しネットに編み込んだものである。遮光資材の被覆期間は梅雨明け後の高温期で、2017年は7月20日～9月10日(ただし、台風接近のため8月4日に除去し、8月7日に再被覆)、2018年は7月10日～8月30日とした。

トマトの品種は穂木に‘りんか409’(サカタのタネ)を、台木に‘グリーンセーブ’(タキイ種苗)を用いた。2017年は穂木を3月17日に、台木を3月16日にそれぞれ128穴セルトレイに播種し、4月4日にチューブを用いて接ぎ木を行った。活着後の4月11日に直径12cmの黒色ポリポットに鉢上げして育苗し、第1花房開花始めの5月5日にハウス内に定植した。2018年の穂木の播種日は3月16日、台木の播種日は3月15日、接ぎ木日は4月1日、鉢上げ日は4月10日、2017年と同様に育苗し5月1日に定植した。両試験年とも栽植様式は畝幅1.7m、株間55cm、条間60cmの2条植えとし、主枝1本仕立ての斜め誘引で栽培した。2017年は9月20日、2018年は9月18日に開花花房上の2葉の上で摘心した。摘心後に茎の上部から発生する側枝は放任した。着果促進のために4-CPA液剤の100倍希釈液(10ppmの濃度となるようにジベレリンを添加)を花房に噴霧処理し、着果確認後1果房あたり4果以内に摘果した。収穫は2017年は6月21日～11月10日、2018年は6月8日～11月9日に行った。施肥量は基肥と追肥の合計で、N、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>、K<sub>2</sub>Oをそれぞれ2017年は2.7、1.7、2.2kg/a、2018年は2.8、1.7、2.3kg/a施用した。春期と秋期は自動開閉装置を用いてハウス内気温が15℃以下でハウスサイドが閉まるように設定し保温した。2017年5月25日～9月13日は高さ1.7mまで、2018年5月15日～9月28日は高さ1.9mまでハウス妻面のフィルムを除去し、換気によりハウス内気温の上昇を抑制した。ハウスサイドおよび妻面の開口部は防虫を目的に4mm目合いの防風ネットで覆った。

生育環境の調査については、日射計(CHF-SR05、株式会社クリマテック)をハウス内のトマト群落上および野外の遮蔽物のない場所に設置し、1分間隔で遮光期間中の日射量を測定した。また、ハウス中央部の畝上1.2mの

強制通風筒(イノチオアグリ株式会社)内に温度計(RTR-502, 株式会社ティアンドデイ)のセンサーを設置し, 1分間隔で遮光期間中のハウス内気温を測定した。2018年8月7日の13時には通路側の果実を1区当たり15果, 2018年8月9日の11時には通路側の葉を1区当たり30葉それぞれ選び, 光が当たっている部分の表面温度を放射温度計(FT3701, 日置電機株式会社)で測定した。

生育調査は両サイドの各1条を除くハウス全体から偏らないように個体を選定し実施した。栽培中の生育調査には, 2017年は1区当たり12個体, 2018年は1区当たり16個体を選んだ。まず, 2017年8月1日~9月5日および2018年7月31日~9月4日に, 7日間隔で成長点から約15cm下の節間の茎径をノギスで測定した。また, 遮光処理が終了した2017年9月10日には第30葉, 第35葉, 第40葉について, 同じく2018年8月30日には第35葉, 第40葉, 第45葉について葉長および葉幅を測定した。栽培終了時の生育調査には, 2017年は1区当たり12個体(ただし, 地上部乾物重は6個体), 2018年は1区当たり20個体を選んだ。測定項目は地際から摘心位置までの茎長, 摘心位置までに着生した果房数, 摘心位置までの葉数および地上部乾物重とした。地上部乾物重については通風乾燥機を用いて十分乾燥させたのちに測定し, 栽培終了時の果実を除く地上部に栽培中に除去した葉や側枝を加えた。

果実調査は, 栽培終了時の生育調査の対象個体について概ね2~3日間隔で収穫し, JA熊本経済連の規格に準じた可販果(秀, 優および良)と種類別の外品果に分けて果数および重量を記録した。放射状裂果については, 外品果となる発生程度が大きな果実(以下, 外品放射状裂果)に併せ, 可販果に含まれる発生程度が軽微な果実(以下, 可販放射状裂果)についても分けて調査した。小果は90g未満とした。2017年8月25日および2018年8月19日に収穫したそれぞれ12果については果実糖度を調査した。調査方法としては, まず供試果実を果柄を中心に縦に8分割し, 対角にある2片を破碎して得た果汁の糖度をポケット糖度計(PAL-1, 株式会社アタゴ)

で測定した。

### III 結果

#### 1 ハウス内の生育環境に及ぼす影響

気象庁による九州北部の梅雨明けは, 2017年が7月13日, 2018年が7月9日で, ともに平年の7月19日より早かった。また, 阿蘇乙姫(アメダス)の月平均気温は平年に比べ, 2017年は7月が1.4℃, 8月が1.0℃, 2018年は7月が1.5℃, 8月が1.2℃それぞれ高かった。このように, 両試験年とも平年に比べ梅雨明けが早く, 7月および8月の気温が高い条件での試験であった。

遮光期間中のハウス内積算日射量に及ぼす影響を第1表に示す。積算日射量は赤外線カット区が無遮光区の65%, 遮光区が無遮光区の57~60%で, 赤外線カット区が遮光区よりやや多かった。ハウス内気温に及ぼす影響を第2表に示す。遮光期間中の日平均気温の平均は無遮光区に比べ赤外線カット区が0.5℃, 遮光区が0.6~0.9℃それぞれ低かった。また, 日最高気温の平均は無遮光区に比べ赤外線カット区が1.2~1.3℃, 遮光区が1.7~1.8℃それぞれ低かった。赤外線カット区は遮光区に比べ日平均気温, 日最高気温ともにわずかに高かった。晴天日のハウス内気温も遮光期間中の平均と同様の傾向であった。果実および葉の表面温度に及ぼす影響を第3表に示す。

第1表 遮光資材の種類が遮光期間中のハウス内積算日射量<sup>a)</sup>に及ぼす影響

試験区	2017年 <sup>b)</sup> (MJ/m <sup>2</sup> )	2018年 <sup>c)</sup> (MJ/m <sup>2</sup> )
赤外線カット区	407.7 ( 65) <sup>d)</sup>	523.4 ( 65)
遮光区	376.6 ( 60)	456.8 ( 57)
無遮光区	627.7 (100)	800.7 (100)
野外	896.0 (143)	1092.2 (136)

<sup>a)</sup>各区のトマト群落上および野外の遮蔽物のない場所で日射計(CHF-SR05, 株式会社クリマテック)を用いて1分間隔で測定した

<sup>b)</sup>7月21日~9月10日(8月4日~8月7日は欠測)

<sup>c)</sup>7月11日~8月30日

<sup>d)</sup>( )内の数字は無遮光区を100としたときの割合(%)を示す

第2表 遮光資材の種類がハウス内気温<sup>a)</sup>に及ぼす影響

試験区	遮光期間中の平均				晴天日			
	2017年 <sup>b)</sup>		2018年 <sup>c)</sup>		2017年7月28日		2018年7月15日	
	日平均 (℃)	日最高 (℃)	日平均 (℃)	日最高 (℃)	平均 (℃)	最高 (℃)	平均 (℃)	最高 (℃)
赤外線カット区	24.8 (-0.5) <sup>d)</sup>	30.8 (-1.2)	25.5 (-0.5)	32.0 (-1.3)	28.2 (-0.4)	34.4 (-1.4)	27.2 (-0.2)	35.0 (-1.4)
遮光区	24.4 (-0.9)	30.2 (-1.8)	25.4 (-0.6)	31.6 (-1.7)	27.8 (-0.8)	34.1 (-1.7)	26.9 (-0.5)	34.8 (-1.6)
無遮光区	25.3 (0.0)	32.0 (0.0)	26.0 (0.0)	33.3 (0.0)	28.6 (0.0)	35.8 (0.0)	27.4 (0.0)	36.4 (0.0)

<sup>a)</sup>ハウス中央部から1.2mの強制通風筒(イノチオアグリ株式会社)内で温度計(RTR-502, 株式会社ティアンドデイ)を用いて1分間隔で測定した

<sup>b)</sup>7月21日~9月10日(8月4日~8月7日は欠測)

<sup>c)</sup>7月11日~8月30日

<sup>d)</sup>( )内の数字は無遮光区との差(℃)を示す

第3表 遮光資材の種類が果実および葉の表面温度<sup>a)</sup>に及ぼす影響

試験区	果実 (°C)	葉 (°C)
赤外線カット区	36.6 (-5.7) <sup>b) b<sup>c)</sup></sup>	30.0 (-2.5) b
遮光区	36.3 (-6.0) b	29.3 (-3.2) c
無遮光区	42.3 (0.0) a	32.5 (0.0) a

<sup>a)</sup> 通路側の光が当たっている部分を放射温度計 (FT3701, 日置電機株式会社) を用いて測定した (果実: 2018年8月7日13時, 葉: 2018年8月9日11時)

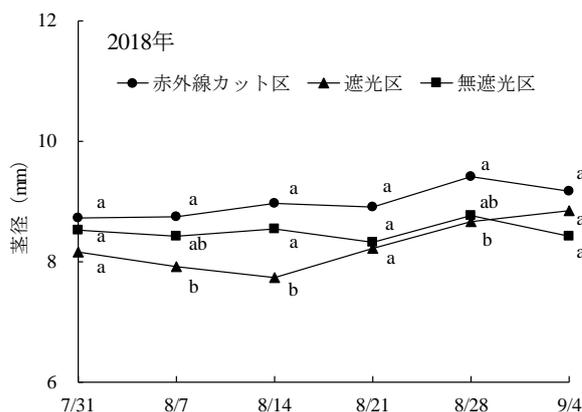
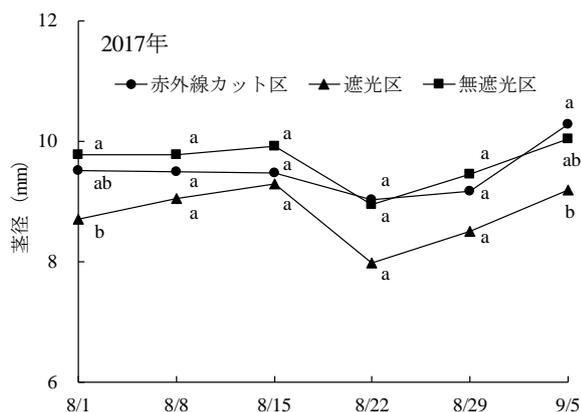
<sup>b)</sup> ( ) 内の数字は無遮光区との差 (°C) を示す

<sup>c)</sup> Tukeyの多重比較検定により同列異文字間に5%水準で有意差あり (果実: n=15, 葉: n=30)

放射温度計で測定した光が当たっている部分の表面温度は, 果実では無遮光区に比べ赤外線カット区が 5.7°C, 遮光区が 6.0°Cそれぞれ低く, 葉では無遮光区に比べ赤外線カット区が 2.5°C, 遮光区が 3.2°Cそれぞれ低かった. 赤外線カット区と遮光区の葉の表面温度には有意差が認められた.

2 生育に及ぼす影響

茎径の推移に及ぼす影響を第1図に示す. 成長点から約15 cm下の茎径は, 両試験年とも遮光区が無遮光区に比べ小さく推移する傾向で, 2017年8月1日および2018年8月14日の調査では有意差が認められた. 赤外線カット区と無遮光区の間には有意差はなかった. 遮光終了時の葉長および葉幅に及ぼす影響を第4表に示す. 赤外線カット区は無遮光区に比べ, 2017年の第40葉の葉幅および2018年の第40葉, 第45葉の葉長および葉幅が有意に大きかった. 遮光区は無遮光区に比べ2018年の第40葉の葉長が有意に大きかった. 栽培終了時の生育に及ぼす影響を第5表に示す. 赤外線カット区は無遮光区に比べ茎長が2017年は有意に小さく, 2018年は逆に有意に大きかったが, 果房数, 葉数および地上部乾物重に有意差は認められなかった. 遮光区は無遮光区に比べ2017年は茎長, 果房数, 葉数および地上部乾物重のすべての調査項目が有意に小さく, 2018年は葉数および地上部乾物重が有意に小さかった.



第1図 遮光資材の種類が茎径の推移に及ぼす影響  
成長点から約15 cm下の節間をノギスで測定した  
Tukeyの多重比較検定により各調査日において異文字間に5%水準で有意差あり (2017年: n=12, 2018年: n=16)

第4表 遮光資材の種類が遮光終了時の葉長および葉幅<sup>a)</sup>に及ぼす影響

試験年	試験区	第30葉		第35葉		第40葉		第45葉	
		葉長 (cm)	葉幅 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)	葉長 (cm)	葉幅 (cm)
2017年	赤外線カット区	48.5a <sup>b)</sup>	55.6a	43.9a	52.0a	47.1a	47.9a	- <sup>c)</sup>	-
	遮光区	45.1a	52.9a	42.8a	48.6a	46.0a	47.0ab	-	-
	無遮光区	46.6a	52.9a	42.3a	50.2a	42.6a	43.1b	-	-
2018年	赤外線カット区	-	-	41.3a	44.9a	40.5a	47.1a	42.4a	41.0a
	遮光区	-	-	41.0a	45.0a	41.0a	44.4ab	40.4ab	38.3ab
	無遮光区	-	-	38.6a	42.2a	34.4b	41.2b	37.3b	34.8b

<sup>a)</sup> 2017年は9月10日, 2018年は8月30日に調査した

<sup>b)</sup> Tukeyの多重比較検定により各試験年の同列異文字間に5%水準で有意差あり (2017年: n=12, 2018年: n=16)

<sup>c)</sup> -は調査なしを示す

第5表 遮光資材の種類が栽培終了時の生育に及ぼす影響

試験年	試験区	茎長 <sup>a)</sup> (cm)	果房数 <sup>b)</sup> (果房)	葉数 <sup>c)</sup> (枚)	地上部乾物重 <sup>d)</sup> (g)
2017年	赤外線カット区	426.9b <sup>e)</sup>	17.7ab	61.0ab	396.2ab
	遮光区	422.1b	17.1b	59.6b	355.8b
	無遮光区	450.4a	18.2a	62.8a	464.7a
2018年	赤外線カット区	449.7a	19.4a	64.5a	374.3a
	遮光区	427.1b	18.6b	62.6b	320.6b
	無遮光区	431.8b	19.0ab	64.3a	374.6a

<sup>a)</sup> 摘心位置までの茎長

<sup>b)</sup> 摘心位置までに着生した果房数

<sup>c)</sup> 摘心位置までの葉数

<sup>d)</sup> 栽培終了時の地上部にそれまでに除去した葉や側枝を加えた合計

<sup>e)</sup> Tukeyの多重比較検定により各試験年の同列異文字間に5%水準で有意差あり (2017年: n=12, ただし地上部乾物重はn=6, 2018年: n=20)

3 収量, 可販果1果重および可販果率に及ぼす影響  
収量, 可販果1果重および可販果率に及ぼす影響を第6表に示す. 赤外線カット区は無遮光区に比べ2017年の可販果1果重が有意に大きく, 2018年の可販果数および可販果収量が有意に多かった. また, 両試験年とも可販果率が有意に高く, 総果数および総収量には有意差はなかった. 遮光区は無遮光区に比べ両試験年とも総果数が有意に少なく, 2018年は総収量および可販果数も有意に

少なかったが, 可販果収量, 可販果1果重および可販果率には両試験年とも有意差はなかった.

4 放射状裂果およびその他の外品果の発生率に及ぼす影響

放射状裂果およびその他の外品果の発生率に及ぼす影響を第7表に示す. 無遮光区における外品果としては, 放射状裂果, 尻腐果および小果の発生率が高かった. 放射状裂果については, 赤外線カット区が無遮光区に比べ,

第6表 遮光資材の種類が収量, 可販果1果重および可販果率に及ぼす影響

試験年	試験区	総果数 (果/株)	総収量 (kg/株)	可販果数 (果/株)	可販果収量 (kg/株)	可販果1果重 (g)	可販果率 (%)
2017年	赤外線カット区	47.8a <sup>a)</sup>	8.8a	40.7a	7.9(116) <sup>b)</sup> a	194.4a	84.9a
	遮光区	42.3b	7.7a	34.5b	6.6( 97)b	191.6ab	81.6ab
	無遮光区	52.2a	8.5a	38.8ab	6.8(100)ab	174.5b	74.9b
2018年	赤外線カット区	56.0a	9.5a	50.3a	8.7(121)a	173.7a	89.6a
	遮光区	49.0b	7.9b	39.0c	6.6( 92)b	169.2a	79.7b
	無遮光区	54.0a	8.9a	43.0b	7.2(100)b	168.3a	79.7b

<sup>a)</sup> Tukeyの多重比較検定 (可販果率については逆正弦変換後に検定) により各試験年の同列異文字間に5%水準で有意差あり (2017年: n=12, 2018年: n=20)

<sup>b)</sup> ( ) 内の数字は各試験年の無遮光区を100としたときの割合 (%) を示す

第7表 遮光資材の種類が放射状裂果およびその他の外品果の発生率<sup>a)</sup>に及ぼす影響

試験年	試験区	放射状裂果			同心円状裂果	尻腐果	乱形果	チャック果	窓開果	空洞果	小果 <sup>d)</sup>	その他
		可販放射状裂果 <sup>b)</sup>	外品放射状裂果 <sup>c)</sup>	合計								
		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
2017年	赤外線カット区	5.3a <sup>e)</sup>	1.7b	7.0ab	0.0a	1.2a	0.7a	0.9a	0.7a	0.8ab	9.1a	0.0a
	遮光区	4.8a	2.4ab	7.2b	0.4a	1.3a	1.0a	0.8a	0.8a	2.6a	8.9a	0.2a
	無遮光区	8.7a	5.6a	14.3a	1.0a	3.8a	0.9a	0.7a	0.5a	0.5b	12.1a	0.0a
2018年	赤外線カット区	8.1a	4.0b	12.1b	0.1a	1.8a	0.3a	0.0a	0.3b	0.0a	4.0b	0.0a
	遮光区	9.7a	5.5b	15.2b	0.2a	2.9a	0.7a	0.1a	1.1a	0.4a	9.3a	0.1a
	無遮光区	11.2a	10.1a	21.3a	0.1a	4.4a	0.6a	0.2a	0.1b	0.2a	4.7b	0.0a

<sup>a)</sup> 総果数に占める割合

<sup>b)</sup> 可販果に含まれる発生程度が軽微な放射状裂果

<sup>c)</sup> 外品果となる発生程度が大きな放射状裂果

<sup>d)</sup> 重量が90g未満の果実

<sup>e)</sup> Tukeyの多重比較検定 (逆正弦変換後に検定) により各試験年の同列異文字間に5%水準で有意差あり (2017年: n=12, 2018年: n=20)

外品放射状裂果の発生率が両試験年とも有意に低く、2018年は可販放射状裂果と外品放射状裂果の合計の発生率も有意に低かった。遮光区は無遮光区に比べ、2018年の外品放射状裂果の発生率が有意に低く、可販放射状裂果と外品放射状裂果の合計の発生率も両試験年において有意に低かった。可販放射状裂果の発生率には両試験年とも各試験区間で有意差はなかった。放射状裂果以外の外品果では、遮光区が無遮光区に比べ、2017年の空洞果、2018年の窓開果および小果の発生率が有意に高かったが、赤外線カット区と無遮光区との間には発生率に有意な差は認められなかった。

#### 5 果実糖度に及ぼす影響

果実糖度に及ぼす影響を第8表に示す。果実糖度については両試験年とも各試験区間に有意差は認められなかった。

第8表 遮光資材の種類が果実糖度に及ぼす影響

試験年	試験区	糖度 <sup>a)</sup> (Brix%)
2017年	赤外線カット区	4.9a <sup>b)</sup>
	遮光区	4.9a
	無遮光区	4.9a
2018年	赤外線カット区	5.3a
	遮光区	5.3a
	無遮光区	5.3a

<sup>a)</sup>2017年8月25日および2018年8月19日の収穫果を果柄を中心に縦に8分割し、対角にある2片を破碎して得た果汁をポケット糖度計 (PAL-1, 株式会社アタゴ) を用いて測定した

<sup>b)</sup>Tukeyの多重比較検定により各試験年の同列異文字間に5%水準で有意差あり (n=12)

#### IV 考察

赤外線カット区および遮光区では無遮光区に比べハウス内気温が低下し、昇温抑制効果が認められた(第2表)。また、果実や葉の表面温度についても同様に昇温が抑制された(第3表)。これらの昇温抑制効果の大きさは、赤外線カット区が遮光区に比べやや小さかった。これは赤外線カット区の積算日射量が遮光区に比べやや多かったこと(第1表)に起因すると考えられる。一方、果実や葉の表面温度における赤外線カット区および遮光区と無遮光区との差は気温における差に比べて大きく、特に果実の表面温度は5.7~6.0℃と大きく低下した。このことから、遮光による昇温抑制効果は気温よりも果実や葉の表面温度において大きく現れると考えられる。井手ら<sup>4)</sup>も夏期の低段密植栽培での実験の結果、遮光処理は気温よりも葉温の上昇を抑える効果が大きいと報告しており、今回の結果と一致した。

赤外線カット区の茎径および栽培終了時の生育、総収量は無遮光区と同程度であった(第1図、第5表、第6

表)。今回供試した赤外線カット資材は新規の赤外線カットフィルムを細断しネットに編み込んだものである。素材の赤外線カットフィルムの日射の透過率は71%、PARの透過率は88%とされている<sup>5, 13)</sup>。赤外線カット区におけるハウス内積算日射量の無遮光区に対する割合は65%で、素材である赤外線カットフィルムの日射の透過率に比べ低かったが、これは資材の加工に伴いネット(糸)による遮光が加わったためと考えられる。PARの透過率についても日射と同じ割合で低下したとすると、供試した赤外線カット資材のPARの透過率は81%となり、比較的高く維持されていたと推察される。このため、赤外線カット区における光合成速度はPARの減少により低下するものの、その程度はさほど大きくなかったと考えられる。一方、井手ら<sup>4)</sup>は光飽和点付近の光強度2000 μmol/m<sup>2</sup>/sでの遮光区の個葉の光合成速度が無遮光区に比べ高まることを示し、その要因を遮光処理により気温や葉温が低下し、高温ストレスが回避されたためと考察している。今回の試験においても、赤外線カット区では無遮光区に比べ気温や葉温が低下しており、高温ストレスが緩和され光合成が促進されたと考えられる。これらのことから、赤外線カット区ではPARの減少による光合成速度の減少と高温ストレスの緩和による光合成速度の増加が相殺された結果、無遮光区と同程度の光合成量が確保され、生育や総収量も無遮光区と同程度に維持されたものと推察される。吉島ら<sup>27)</sup>は熱線遮蔽フィルムでハウスを被覆することで高温ストレスが軽減され、トマト苗の生育が促進されると報告しているが、本試験の赤外線カット区および遮光区の葉長および葉幅が無遮光区に比べ増加した(第4表)のも高温ストレスが緩和されたことによるものと考えられる。野村ら<sup>17)</sup>や岡崎・太田<sup>20)</sup>は終日遮光により夏秋トマトの収量が減少すると報告している。本試験においても遮光区では無遮光区に比べ茎径や栽培終了時の茎長、果房数、葉数、地上部乾物重が減少し、総収量が少なかった(第1図、第5表、第6表)。一般的な遮光資材は全波長域で一律に遮光するため、遮光区のPARは積算日射量と同じく無遮光区の57~60%と、赤外線カット区に比べ少なかったと推察される。このため、遮光区では高温ストレス緩和による光合成速度の増加分で補っても光合成速度が低下し、生育量および総収量の減少につながったと考えられる。また、遮光すると陰葉化が進み、強光下での光合成速度が低下すると報告されている<sup>2, 4, 26)</sup>ことから、遮光区における光合成速度の低下には陰葉化の影響が加わっている可能性がある。遮光区では総果数が無遮光区に比べ減少した(第6表)が、これは光合成量の減少により花の充実が悪く、着果数が減少したためと推察される。

外品果では放射状裂果、尻腐果および小果の発生率が高かった(第7表)。これらの中で、外品放射状裂果については赤外線カット区、遮光区ともに無遮光区に比べ発生率が低下した。また、外品放射状裂果に可販放射状裂果を加えたすべての放射状裂果の発生率についても両区において無遮光区に比べ低下した。遮光により夏秋トマトにおける放射状裂果が減少するとして報告は多い<sup>7, 8, 11, 17, 20, 21)</sup>。その一方で、果実や果房だけを遮光しても放射状裂果が減少するとして報告もある<sup>11, 16, 24)</sup>。これらのことから、赤外線カット区や遮光区における放射状裂果の発生率の低下には、気温の低下よりも果実に当たる日射の減少や果実温度の低下が大きく影響したと考えられる。草川・井上<sup>12)</sup>も抑制トマトにおいて、遮光により果実温度の上昇を抑えたことが裂果率の低下につながったと考察している。小果は2018年の遮光区において無遮光区に比べ発生率が高まったが、これは光合成量の減少による花の充実不足のために、十分に肥大しない果実が増加したことによると考えられる。

前述のように赤外線カット区の総収量は無遮光区と同程度であったが、外品放射状裂果の発生率が低下し可販果率が高まったことや、可販果1果重が増加したことにより、可販果収量は無遮光区に比べ16~21%増加した(第6表, 第7表)。遮光資材を開閉し強光時のみ遮光することで可販果収量が増加すると報告されている<sup>7, 8, 20)</sup>が、赤外線カット資材を用いれば終日遮光でも同様の効果が得られることが示された。遮光区においても外品放射状裂果の発生率が低下したが、可販果収量が無遮光区を上回ることにはなかった。

赤外線カット区、遮光区ともに果実糖度は無遮光区と同等であった(第8表)。川口ら<sup>8)</sup>も終日遮光、強日射時のみの遮光ともに無遮光との間に果実糖度の差がないことを示している。これらのことから、夏秋トマトにおいては遮光の果実糖度への影響は小さいと考えられる。

以上のことから、赤外線カット資材による終日遮光は夏秋トマトにおける放射状裂果の発生抑制や可販果収量の増加に有効であることが示された。終日遮光であればハウスのフィルムの上に重ねて展開するだけで済むため、カーテン装置のない単棟ハウスで栽培される夏秋トマトにおいても導入が容易である。また、赤外線カット資材で遮光したハウス内は無遮光のハウス内に比べて気温が低下し、体感的にも暑さが緩和されることから、赤外線カット資材の利用は労働環境の改善にも有効と考えられる。なお、今回供試した赤外線カット資材は試作品のためすぐには利用できないが、今後の開発の進展が期待される。

## V 謝辞

本研究は、2016~2018年度革新的技術開発・緊急展開事業(うち地域戦略プロジェクト)「施設園芸における高機能性被覆資材の利用技術体系の開発」により実施した。ここに記して謝意を表する。

## VI 引用文献

- 1) 後藤英司(2015):「施設園芸・植物工場ハンドブック」, 農文協, 99-110.
- 2) 浜本 浩・宍戸良洋・内海敏子・熊倉裕史(2000): 低日照条件がトマトの生育, 光合成および同化産物の分配に及ぼす影響. 生物環境調節, 38, 63-69.
- 3) 樋江井清隆・伊藤 緑・番 喜宏・大藪哲也(2015): 自然換気下のトマト施設栽培において昇温抑制に及ぼす超微粒ミスト噴霧及び遮光の併用効果. 愛知農総試研報, 47, 41-49.
- 4) 井手 治・龍 勝利・國武みどり・小熊光輝・奥 幸一郎(2011): 高温期のトマト低段密植栽培における積算日射量を指標とした遮光方法. 福岡農総試研報, 30, 30-33.
- 5) 石神靖弘(2017): 温室内光環境制御のための赤外線カットフィルムと光選択性資材. 施設と園芸, 178, 4-7.
- 6) 岩崎泰永・吉田千恵・相澤正樹(2011): トマト夏秋どり栽培における夜間冷房の効果 収量と電力消費量について. 園学研, 10(別1), 107.
- 7) 川口岳芳・越智資泰・上藤満宏・堀野克己・木場剛志(2014): 夏秋トマトにおける品種および遮光方法が生育, 収量および裂果に及ぼす影響. 園学研, 13(別2), 421.
- 8) 川口岳芳・上藤満宏・伊藤栄治・堀野克己・木場剛志・日高功太(2018): 日射に応じた遮光資材の開閉が夏秋トマトの生育, 収量および果実品質に及ぼす影響. 園学研, 17(別2), 440.
- 9) 川嶋和子・長屋浩治・加藤美雪・浅野義行(2011): トマト抑制栽培における超微粒ミストの噴霧量の違いが施設内気温と収量に及ぼす影響. 園学研, 10(別1), 422.
- 10) 川嶋和子・鈴木充博・長屋浩治・水野はるか・榊原政弘(2010): ドライミストによる冷房処理がトマト抑制栽培における施設内気温, 生育, 収量に及ぼす効果. 園学研, 9(別1), 143.
- 11) 木村真美・藤谷信二・一万田賢治(2012): 夏秋雨よけトマト栽培における裂果軽減技術(第1報). 大分農研指セ研報(農業研究部編), 2, 23-42.

- 12) 草川知行・井上 満 (2006) : 遮光ネットの利用が抑制トマト栽培における収量および品質に及ぼす影響. 園学雑, 75 (別2), 261.
- 13) 圓生晃啓・石神靖弘・後藤英司 (2017) : 赤外線カットフィルムおよびヒートポンプを用いた夏季の閉鎖系温室におけるトマトの生育・収量. 日本生物環境工学会講演要旨, 128-129.
- 14) 宮田洋輔・北原健太郎・安田雅晴・鈴木隆志 (2014) : トマト独立ポット耕における夏越え作型に関する研究. 岐阜農技セ研報, 14, 1-9.
- 15) 村上健二・山崎敬亮・吉田祐子・生駒泰基・福岡信之・能任信介 (2017) : 夏期ホウレンソウの生育に対する慣行の遮光資材と新規遮熱ネット資材の比較. 園学研, 16 (別2), 488.
- 16) 二井内清之・本田藤雄・太田成美 (1960) : トマトの裂果に関する研究 (第1報) 裂果の機構について. 園学雑, 29, 287-293.
- 17) 野村康弘・鈴木隆志・塩谷哲也 (2005) : 遮光資材による夏秋トマト裂果発生抑制技術. 岐阜中山間農技研報, 5, 11-16.
- 18) 大石直記・守谷栄樹 (2009) : ヒートポンプによる夏秋季夜間の環境制御が3段密植トマトの生育に及ぼす影響. 園学研, 8 (別2), 259.
- 19) 大石直記・守谷栄樹 (2011) : ヒートポンプによる盛夏期夜間の環境制御がトマトの成育および果実肥大に及ぼす影響. 園学研, 10 (別1), 108.
- 20) 岡崎徹哉・太田弘志 (2006) : 遮光処理が夏秋トマトの生育, 収量に及ぼす影響. 東北農研, 59, 185-186.
- 21) 齋藤裕史・佐藤睦人・太田弘志 (2009) : 夏秋トマトの夏期遮光による裂果軽減効果. 東北農研, 62, 165-166.
- 22) 鈴木克己 (2015) : 「施設園芸・植物工場ハンドブック」, 農文協, 453-461.
- 23) 鈴木真実・森川信也・鈴木敏征・福岡信之 (2016) : 夏季シュンギク栽培での新規赤外線遮断資材の被覆効果. 園学研, 15 (別1), 175.
- 24) 鈴木隆志・野村康弘・嶋津光鑑・田中逸夫 (2009) : 夏秋トマト雨よけ栽培における放射状裂果の発生に及ぼす着果制限, 果房被覆および二酸化炭素施用の影響. 園学研, 8, 27-33.
- 25) 渡邊圭太・中西幸太郎・光川嘉則・櫻井基生 (2014) : 簡易設置型パッドアンドファン冷房が高温期のハウス内温度, 飽差並びにトマトの生育, 収量に及ぼす影響. 兵庫農技総セ研報 (農業), 62, 14-18.
- 26) 柳 智博・佐藤治雄・上田悦範・平井宏昭・織田弥三郎 (1992) : 遮光処理が一段摘心栽培トマトの個葉の光合成に及ぼす影響. 園学雑, 61 (別2), 312-313.
- 27) 吉島豊喜・堤 泰之・小野 誠 (2008) : トマト夏季育苗期の熱線遮蔽フィルム天井被覆および天井散水が生育・着果に及ぼす影響. 園学九研集, 16, 39.

## Summary

### Infrared-Reflecting Material Reduces Radial Fruit Cracking and Increases Marketable Fruit Yield in Tomato Production under Rain Shelters in Cool Uplands

Eishin IWAMOTO and Tetsuro MIYAMOTO

(Highland Agricultural Research Institute)

Summer-to-autumn tomato production under rain shelters is performed in the cool uplands at an altitude of 400 to 650 m in Kumamoto prefecture. However, due to the high temperatures under rain shelters in summer, an increase in radial fruit cracking and a reduction in marketable fruit yield occur. In this study, we investigated the effects of continuous shading during the summer using a new infrared-reflecting material that has high transmittance of photosynthetic active radiation and selectively reflects near infrared light on radial fruit cracking and marketable fruit yield. The experiments were carried out at the Kumamoto prefectural agricultural research center highland agricultural research institute at the altitude of 543 m in 2017 and 2018. The average daily maximum temperature during the shading period under rain shelters shaded with infrared-reflecting material was 1.2-1.3°C lower than that under unshaded rain shelters. Likewise, the surface temperatures of fruit and leaves exposed to direct sunlight were 5.7°C and 2.5°C lower, respectively. While the length and width of the leaves of plants shaded with infrared-reflecting material increased compared with those of unshaded plants, there was no significant difference in the top dry weight or total fruit yield between the shaded and unshaded plants. Radial fruit cracking was reduced and the ratio of marketable fruits increased; the weight of marketable fruit also increased, and consequently, the marketable fruit yield increased 16-21% in plants shaded with infrared-reflecting material compared with unshaded plants. On the other hand, in rain shelters shaded with general material with a 40%

shading rate, the top dry weight and total fruit yield decreased, and the marketable fruit yield did not increase, while the air temperature and the surface temperatures of fruit and leaves fell, and radial fruit cracking decreased compared with unshaded shelters. The results of this study indicate that continuous shading with infrared-reflecting material effectively reduces radial fruit cracking and increases the marketable fruit yield in summer-to-autumn tomato production.

Key words: tomato, infrared-reflecting material, shading, radial fruit cracking, yield